

## Гамма-резонансные исследования сегнетоэлектрика $\text{LiNbO}_3$ , имплантированного ионами железа

А.Л. Зиннатуллин<sup>1</sup>, Р.И. Хайбуллин<sup>2</sup>, Ф.Г. Вагизов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008 Казань, Россия  
e-mail: almaz.zinnatullin@gmail.com

<sup>2</sup>Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ Казанский научный центр РАН, 420029 Казань, Россия

Магнитоэлектрические явления и материалы, проявляющие магнитоэлектрические свойства, - мультиферроики являются одними из наиболее популярных направлений исследований в современной физике конденсированных сред. Связано это с тем, что на основе таких свойств предполагается создание новых многофункциональных устройств, где с помощью магнитного поля возможно управлять электрической поляризацией (прямой магнитоэлектрический эффект), а с помощью электрического поля – магнитным моментом (обратный магнитоэлектрический эффект). Однако число однофазных мультиферроиков весьма ограничено. Использование композитных материалов на основе ферромагнитных и сегнетоэлектрических соединений может стать решением этой проблемы. В них магнитоэлектрический эффект достигается благодаря магнитострикции и пьезоэффекту в соответствующих фазах и переносу механической деформации через их взаимный интерфейс. Одним из вариантов реализации таких композитов являются так называемые системы «0-3», где в объем сегнетоэлектрика вводятся изолированные ферромагнитные частицы или наоборот. К примеру, были продемонстрированы магнитоэлектрические свойства композитов на основе сегнетоэлектриков  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{BiFeO}_3$ ,  $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$  и др. и ферритов  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  и др. [1, 2]. Продолжается поиск новых подобных материалов и методов для их создания.

Одним из возможных методов внедрения частиц одного сорта в объем другого является ионная имплантация с высокой дозой. Действительно, при высокодозном облучении может происходить синтез наночастиц из вносимой примеси [3]. Стоит заметить, что метод ионной имплантации позволяет точно контролировать количество вводимой примеси, их химическую чистоту, а также модифицировать только лишь приповерхностный слой облучаемого соединения, создавая таким образом нанокompозитный материал [4].

В данной работе мы сообщаем результаты исследования монокристаллической подложки ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ), имплантированного ионами железа (обогащенного изотопом  $^{57}\text{Fe}$  до 40 %) с энергией 40 кэВ и дозой  $1.5 \cdot 10^{17}$  ионов/ $\text{см}^2$ . Глубина модифицированного слоя оценивается в  $\sim 60$  нм. Показано, что в результате имплантации ионов железа, ниобат лития проявляет ферромагнитные свойства при комнатной температуре. Облученная поверхность ниобата лития изучалась методом мёссбауэровской спектроскопии конверсионных электронов. Обнаружено, что в результате имплантации введенная примесь железа оказывается в разных валентных ( $\text{Fe}^0$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ), а также в разных магнитных состояниях как упорядоченных, так и парамагнитных при комнатной температуре. Предполагается, что магнитоупорядоченная часть имплантированной примеси представляет собой наночастицы металлического железа ( $\alpha\text{-Fe}$ ).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90165.

1. J. Wang ed., *Multiferroic materials: properties, techniques, and applications* (CRC Press), 165 (2017).
2. B.D. Stojanovic ed., *Magnetic, Ferroelectric, and Multiferroic Metal Oxides* (Elsevier), 457 (2018).
3. N.I. Khalitov, V.F. Valeev, I.A. Faizrakhmanov et al., *Nucl Instrum Meth B* **331**, 163 (2014).
4. A.L. Zinnatullin, A.I. Gumarov, I.F. Gilmutdinov et al., *Applied Surface Science* **489**, 220 (2019).